

퍼지이론을 이용한 품질 정보 관리기법 개발에 관한 연구

Development of Quality Information Control Technique using Fuzzy Theory

김경환, 하성도 (한국과학기술연구원 기전연구부)
Kyounghwan Kim, Sungdo Ha (Div. of Mechanical/Control System, KIST)

ABSTRACT

Quality information is known to have the characteristic of continuous distribution in many manufacturing processes. It is difficult to describe the process condition by classifying the distribution into discrete ranges which is based on the set concept. Fuzzy control chart has been developed for the control of linguistic data but it still utilizes the dichotomous notion of classical set theory.

In this paper, the fuzzy sampling method is studied in order to manage the ambiguous data properly and incorporated for generating fuzzy control chart. The method is based on the fuzzy set concept and considered to be appropriate for the realization of a complete fuzzy control chart. The fuzzy control chart was compared with the conventional generalized p-chart in the sensitivity for quality distribution and robustness against the noise. The fuzzy control chart with the fuzzy sampling method showed better characteristics.

Key Words: fuzzy sampling(퍼지 추출법), fuzzy membership function(퍼지소속함수), defuzzify(비퍼지화), α -level fuzzy midrange(α -수준 퍼지 중간법)

1. 서론

생산 공정에서 품질 정보는 다양한 특성을 가지고 존재하며 이를 정보를 관리하기 위한 지금까지의 대표적인 기법은 통계적공정관리 (SPC : Statistical Process Control)방법이다.^[1] 그러나 품질정보는 항상 이들 통계적인 기법만을 가지고 표현하기에는 어려운 특성을 가지고 있다. 가장 대표적인 특성으로는 품질정보는 연속적이며 또한 수량적으로 표현하기 힘든 주관적인 특성이 많다는 것이다. 따라서 이들 품질정보를 고전 집합 논리를 바탕으로 하는 통계적인 기법으로 표현할 경우 정보의 왜곡이 발생하게 되어 이러한 정보의 손실을 줄일 수 있는 기법의 개발이 필요하다.^[2]

퍼지 이론은 연속적이며 주관적인 정보를 처리하기 위해 개발되었으며, 그 특성상 품질 특성을 표현하기에 적합한 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 기존의 퍼지관리도에 대한 연구는 품질 정보의 퍼지성에 대한 연구의 부족으로 몇몇 오류를 가지고 있다.^[3] 본 연구에서는 통계적인 개념과 퍼지 개념에서의

품질정보의 특성이 어떠한 방식으로 표현되는가를 파악한후 이러한 퍼지이론을 적용하여 개발된 기존의 퍼지 관리도를 오류를 분석하여, 오류에 의해 발생한 품질정보 특성의 손실과 왜곡을 줄일수 있는 퍼지 기법을 개발하였다. 개발된 품질 정보처리 기법의 성능을 분석하기 위해서 기존의 통계적인 관리도와의 품질 분류 관점에서 차이점과 이로 인해 발생하는 특성을 분석하였다.

2. 통계적개념과 퍼지개념에서의 품질정보 표현

2.1 통계적개념의 품질정보표현

고전 논리를 바탕으로 하고있는 확률이론은 품질 분류가 정의될 때 그 불확정성은 정도를 나타내는 것이 아니라, 집합 개념을 바탕으로 하는 원소의 존재성 여부를 그 근거로 하고 있다.^[4] 따라서 통계적인 관리도에서는 각 품질 분류 집합을 설정한후 그 집합에 속하는 원소의 갯수를 이용하여 확률적으로 데이터를 분석한다. 그리고 확률적

으로 관리하기 위한 시스템이 존재하는 경우, 우선 공학자들은 시스템의 분석 후 분석 시스템의 모델화를 수행한다. 이 과정은 시스템의 성능에 영향을 미키는 각 인자들 사이의 연관성을 분석하고 이러한 인자들을 조절하기 위한 변수를 설정하는 것이다. 그러나 많은 경우에 이러한 모델들은 객관적인 모델 설정이나 해석에서도 인간의 직관력이나 통찰력이 필요하기 때문에 인자들이 많을수록 완벽한 모델 구현은 매우 어렵다. 그러나 통계기법은 정확한 확률모델이 정의되어야 하는데, 그 이유는 통계적인 개념 자체가 정확한 모델을 바탕으로하는 기본적인 확률 특성을 가지고 있기 때문이다. 그러나 이러한 종류의 정확성을 얻기 위해서는 더 많은 데이터와 비용과 작업이 필요하다.

2.2 퍼지개념의 품질정보표현

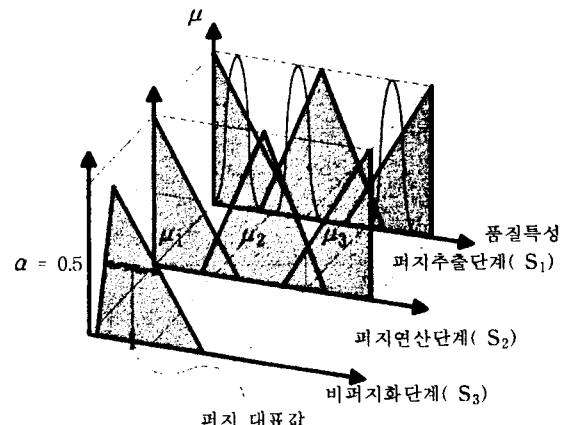
낮은 품질정보특성은 수치적이라기 보다는 직관적 언어로 표현할 때 더 적합하다. 그러나 언어 자체가 가진 주관적인 특성으로 인해 이러한 표현으로는 기존의 이론으로 구현하기에 어려움이 있다. 기본적인 집합개념을 사용하는 통계이론에 비해 퍼지이론의 큰 특징중의 하나는 이러한 경계가 불 정확한 집합의 표현에 언어변수를 사용할 수 있다. 것이다. 즉 공정에서 발생하는 품질 데이터는 거의 모두가 연속성을 내재하고 있으며, 퍼지 이론은 이러한 연속성으로 인해 발생하는 애매모호한 정보를 표현하기 위한 체계적인 기법이다. 따라서 품질 관리와 같이 전문가의 추론, 인식, 감정 등이 새길될 여지가 많은 영역에서의 효율을 높이기 위해서 퍼지논리의 도입이 필요하며, 이는 시스템 인자의 퍼지화로서 구현된다. 예를 들면 실제 공정장에서 발생하는 많은 품질특성 중에 “어느정도 관리상태에 있는가”, “어느정도 비관리상태에 있는가”와 같이 잘 정의되거나 결정되지 않는 인간의 나그 과정이나, 수치적인 표현보다는 기술자의 언어적인 표현이 더욱 적합할 경우에 퍼지이론은 품질 정보를 잘 표현할 수 있는 “표현력”을 가지고 있다.[4] 그러나 시스템과 공정품질정보가 어떠한 퍼지특성을 가지고 있는가에 대한 연구가 선행되어야 앞에서 언급한 퍼지특성을 표현할 수 있다.

3. 품질 정보의 퍼지화

3. 기존의 퍼지관리도^[4]

기존의 퍼지관리도에서는 그림1의 S_2 와 S_3 과정에

서 공정데이터에 퍼지연산을 수행하여 각 품질 정보 비율에 대한 퍼지 소속함수를 생성하고, 이 소속함수의 비퍼지화를 통해서 관리도에 나타내기 위한 퍼지 대표값을 산출한다.



- $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$: 퍼지추출기법을 사용한 퍼지데이터 처리과정
 $S_2 \rightarrow S_3$: 이분적 품질정보를 가지는 기존의 퍼지 데이터 처리과정

그림 1. 품질정보의 퍼지처리 개념도

각 공정관리 주기에 속하는 제품의 비율(p)에 대해서 품질의 정도를 나타내는 언어 변수에 해당하는 삼각소속함수(\tilde{T} : Triangular Membership Function)를 적용하면

$$T_p = [\tilde{T}_1 \dots \tilde{T}_c] \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_c \end{bmatrix} = \tilde{T}_1 p_1 + \dots + \tilde{T}_c p_c \quad (3.1)$$

이 되며, 퍼지 연산을 통해서 각 주기 공정의 품질을 대표하는 단일 퍼지소속함수를 생성한다. 그리고 생성된 단일 퍼지소속함수를 비퍼지화하여 관리도에 표현하기 위한 퍼지 대표값을 구한다. 이때 사용되는 비퍼지화 기법은 a -level의 중심값을 퍼지 대표값으로 설정하는 a -Level Fuzzy Midrange로서 그 계산은 다음과 같다.

$$\text{퍼지대표값} = \left[\frac{1-a}{2} \quad a \quad \frac{1+a}{2} \right] \begin{bmatrix} t_{11} & \dots & t_{c1} \\ t_{12} & \dots & t_{c2} \\ t_{13} & \dots & t_{c3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_c \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

여기서 c : 품질 분류의 갯수
 p : 각 주기에서 품질 비율
 이다.

그림1의 S_3 는 $\alpha=0.5$ 인 경우의 α -Level Fuzzy Midrange 를 표현한 것이다.

퍼지관리도의 중심선은 표준품질비율을 식 (3.2)에 적용한 퍼지 대표값으로 결정하며, 관리 한계선은 퍼지 대표값의 계산에 이용된 단일퍼지함수의 Mean Deviation을 사용하여 설정한다. 여기서 Mean Deviation 은 삼각퍼지함수의 넓이와 같다.

$$\begin{aligned} MLCL &= \max(0, CL - k\delta(T^*)) \\ MUCL &= \min(1, CL + k\delta(T^*)) \end{aligned} \quad (3.3)$$

여기서 k : 설정된 유의수준에 대해 Simulation과 전문가의 경험에 의해 선택되는 상수
 $\delta(T^*)$: Mean deviation

MLCL: Membership Lower Control Limit

MUCL: Membership Upper Control Limit

이다.

3.2 퍼지 추출법 (Fuzzy Sampling)

공정으로부터 측정되는 품질 특성 데이터는 연속적인 분포를 나타내게 되므로 이분적인 개념을 사용하여 등급으로 분류하는 경우에 각 등급에 속하는 비율의 산출에 있어서 많은 정보의 손실이 발생된다. 즉 단지 분류에 속하는 원소의 갯수를 고려하므로 각 품질 분류내의 품질의 분포를 알 수 없다. 따라서 좋은 품질의 경우에도 아주 좋은 품질과 좋은 품질내에서 저급에 속하는 품질들에 대한 정보를 얻을 수 없다. 따라서 각각의 품질 분류에 공정의 특성에 따라 연속적으로 그 값이 변화하는 삼각퍼지함수를 설정하여 이용하면 분류 경계에서의 작은 차이로 다른 등급에 속하게 되는 불합리성이 보상되며, 각 등급 안에서의 특성의 분포의 파악도 가능하게 된다.

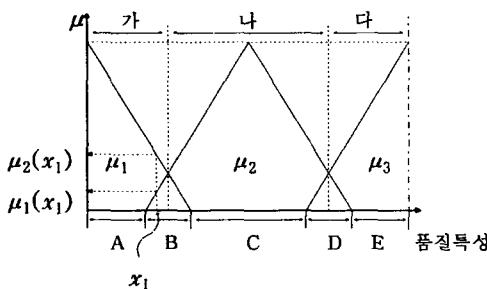


그림 2. 퍼지 추출 개념도

그림 2에서 가, 나, 다는 품질특성을 등급으로 분류하기 위한 구간이며 각 품질 구간에 대해 삼각 퍼지 함수를 설정한 뒤 측정된 데이터에 각 퍼지소속함수를 적용시켜 식 (3.4)과 같이 계산한다.

$$\mu_{total} = \sum \mu_{A1} + \sum \mu_{B1} + \sum \mu_{R2} + \sum \mu_{C2} + \sum \mu_{D2} + \sum \mu_{E2} \quad (3.4)$$

μ_{X_i} : X구간의 데이터들에 대한 μ 소속함수의 값

($X = A, B, \dots, E$, $i = 1, 2, 3$)

이때 품질비율은 다음과 같다.

$$[\frac{\sum \mu_{A1} + \sum \mu_{B1}}{\mu_{total}}, \frac{\sum \mu_{B2} + \sum \mu_{C2} + \sum \mu_{D2}}{\mu_{total}}, \frac{\sum \mu_{D2} + \sum \mu_{E2}}{\mu_{total}}] \quad (3.5)$$

이러한 퍼지추출은 퍼지관리도와 구별되는 것으로서 퍼지관리도에서 사용되던 이분적 구분에 의하여 발생되는 정보의 손실을 방지할 수 있다.

4. 성능비교분석

품질정보는 연속적인 개념이므로 각 품질 분류 집합에 각 공정 데이터가 포함되는가의 여부만을 가지고 판단하는 이분적인 통계적인 개념으로는 이러한 품질 정보 특성을 표현하는데 어려움이 있다. 그림 3과 같이 통계적인 품질 분류법의 경우 공정 주기가 변함에 따라 품질정보 자체에 변화가 생기더라도 이를 변화가 품질 분류내에서 변한다면 이러한 변화를 인식하지 못한다. 따라서 품질 정보의 왜곡이 발생하게 된다. 그러나 퍼지 개념을 적용하여 품질 특성을 평가하는 경우 연속적인 특성을 효과적으로 표현 할 수 있다.

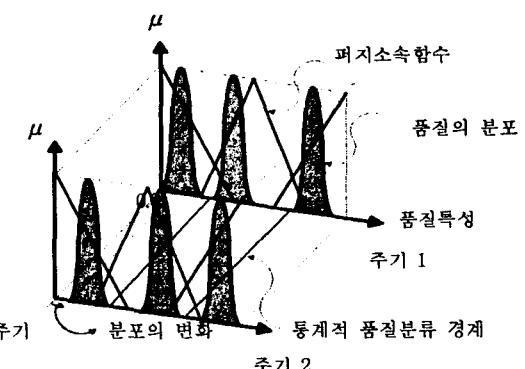


그림 3. 공정주기 변화에 따른 품질 분포의 변화

예를 들어 데이터의 각각의 분류 구간 안에서의 분포에 대한 민감성 비교를 위하여 각각의 분류구간에 1개씩의 데이터가 있는 두쌍의 데이터 세트를 고려 한다.

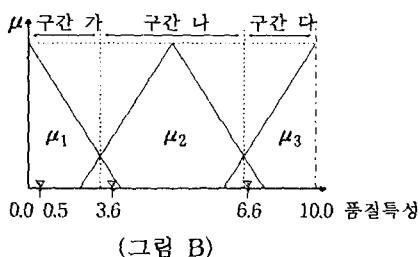
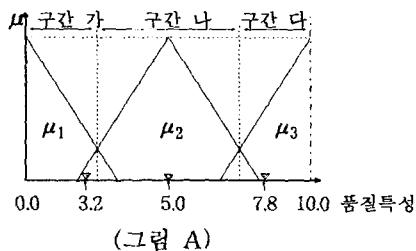


그림 4. 구간내의 데이터 분포에 따른 차이 비교

그림 4에서 A와 B의 데이터는 다른 품질 경향을 가짐에도 불구하고 종래의 이분적인 방법으로는 동일한 비율 [0.33, 0.33, 0.33]로 계산된다. 그러나 퍼지추출기법을 사용하면 아래와 같은 결과를 얻어 구간 내에서의 분포의 차이를 인식할 수 있게 된다.

	A			B		
위치	3.20	5.00	7.80	0.50	3.60	6.60
μ_1	0.25			0.88	0.10	
μ_2	0.10	1.00			0.30	0.20
μ_3			0.45			0.15

표 1. 그림 4의 데이터를 이용한 퍼지추출 결과

표 1의 소속함수값에 대해서 퍼지 추출 기법을 적용하면 데이터 A의 경우 품질 비율은

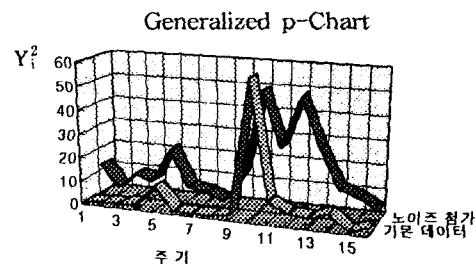
$$[\frac{0.25}{1.8} \quad \frac{1.1}{1.8} \quad \frac{0.45}{1.8}] = [0.138 \quad 0.611 \quad 0.25]$$

이며, B의 경우에는 [0.53 0.246 0.215]이다.

A에서 3개 품질데이터는 '나'구간에 치우치는 경향이 있으며 B에서는 '가'구간에 치우치는 경향이 있는데 이러한 경향은 종래의 비율 계산 방법으로는 구분할 수 없으나 퍼지추출을 통하여 그 경향이 파악됨을 알 수 있다.

일반적으로 관리도의 비교는 일정한 유의수준하에서 ARL 또는 OC 곡선을 사용하여 비교하게 되며, 이러한 비교법은 대상 데이터 값이 같은 경우에 적용은 가능하다. 본 연구에서는 데이터 추출 단계에서 정보의 차이가 발생하게 되어 이러한 방법들 적합하지 않게 된다.

따라서 본 연구에서는 노이즈의 증가에 따른 Process Shift의 크기를 비교하여 각 기법의 강인성을 비교 분석한다. 여기서 비교 대상으로 설정한 통계적인 관리도는 비교의 공정성을 위해 다양한 품질 분류의 관리를 위해서 개발된 Generalized p-Chart이다.^[5] 종래의 데이터 이분적인 추출법에서는 측정 데이터에 포함되는 노이즈의 크기가 증가하면 분류 구간의 경계 부근에 위치하는 데이터는 경계를 넘어 이동할 가능성이 있다. 따라서 Generalized p-Chart 혹은 퍼지 관리도에서는 노이즈가 증가하게 되면 공정상태가 변화한 것으로 판단하는 제1종 오류의 가능성이 커지게 된다. 그러나 퍼지 추출법을 적용한 퍼지관리도에서는 노이즈의 증가에 따른 데이터의 변화가 퍼지 추출에 의하여 그 영향이 종래의 방법에 비하여 크지 않다.



Fuzzy Control Chart Using Fuzzy Sampling

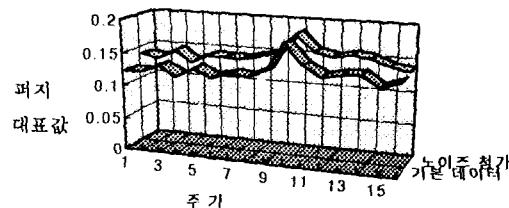


그림 5. 노이즈에 의한 관리도의 변화 비교

그림 5는 노이즈의 크기가 증가함에 따라서 관리도가 변화하는 모습을 보여준다. Generalized p-Chart의 경우에는 기본 데이터에 대해서 관리도의 Process Shift의 크기가 크지만, 퍼지추출법을 적

용한 퍼지관리도의 경우에는 Process Shift가 상대적으로 작고 데이터의 경향도 안정되어 있음을 알 수 있다.

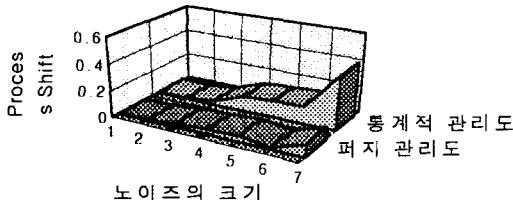


그림 6. 노이즈의 영향 비교

각 주기의 데이터를 정규화(Normalize)하여 도시한 그림 6은 퍼지추출법을 사용한 퍼지관리도의 노이즈에 대한 강인성을 잘 나타내고 있다. 즉 노이즈의 크기가 증가함에 따라 Generalized p-Chart는 Process Shift가 커지나 퍼지 관리도는 상대적으로 그 값이 안정되어 있음을 알 수 있다.

5. 결론

품질 특성의 구간을 기준으로 데이터를 분류하여 관리하는 경우, 종래의 관리도는 각각의 데이터가 어느 구간에 속하는가에 따라 비율을 계산하여 품질을 관리하는 이분적인 기법이다. 그러나 연속성을 가지는 품질 특성을 특정 경계를 중심으로 정확히 나누는 것이 불합리하므로 이러한 기법을 사용하게 되면 품질정보의 왜곡이 발생하게 된다.

본 연구에서 개발한 퍼지관리도는 퍼지추출을 통하여 품질데이터를 이분적이 아닌 연속적인 개념으로 분석하므로 더욱 신뢰성 있는 품질정보를 얻을 수 있으며, 퍼지 추출법은 연속적인 각 표본에 대해서 그 분포에 따라 민감하게 반응하여 공정상에서 발생하는 하드웨어 및 주변환경의 변화 영향 등의 노이즈에도 강인한 특성을 가진다.

6. 참고 문헌

- Harrison M. Wadsworth, Kenneth S. Stephens, and A Blanton Godfrey, *Modern Methods for Quality Control and Improvement*, JOHN WILEY & SONS, 1986.
- Piero P. Bonissone, "Discussion: Fuzzy Logic Control Technology : A Personal Perspective", *Technometrics*, Vol. 37, No. 3, August, 1995.

- Abraham Kandel, Alejandro Martins and Roberto Pacheco, "Discussion : On the Very Real Distinction Between Fuzzy and Statistical Methods", *Technometrics*, Vol. 37, No. 3, August, 1995.
- Michael Laviolette, John W. Seaman, Jr, J.Douglas Barrett and William H. Woodall, "A Probabilistic and Statistical View of Fuzzy Methods", *Technometrics*, Vol. 37, No. 3, August, 1995.
- Mark Marcucci, "Monitoring Multinomial Processes", *Journal of Quality Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 86-91, April, 1985.
- Abraham Kandel, and Gideon Langholz, *Fuzzy Control Systems*, CRC press, 1994.
- Arnold Kaufmann and Madan M. Gupta, *Introduction to Fuzzy Arithmetic*, International Thomson Computer Press.
- Jyh-Hone Wang and Tzvi Raz, "Applying Fuzzy Set Theory in the development of Quality Control Chart", *International Industrial Engineering Conference Proceedings*, pp. 30-35, 1988.
- Michael Laviolette and John W. Seaman, Jr, "The Efficacy of Fuzzy Representations of Uncertainty", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 4 - 15, February, 1994.
- Ellen Hisdal, "Interpretative versus Prescriptive Fuzzy Set Theory", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 22 - 26, February, 1994.
- Michael Laviolette and John W. Seaman, Jr "Evaluating Fuzzy Representations of Uncertainty", *Math Scientist*, Vol. 17, pp. 26 - 41, 1992.
- Russell G Almond, "Discussion: Fuzzy Logic Better Science? Or Better Engineering?", *Technometrics*, Vol. 37, No. 3, August, 1995.